Bureau de la sécurité des transports du Canada
Transportation Safety Board of Canada

# RAPPORT D'ENQUÊTE AÉRONAUTIQUE
# A08W0007



# RENCONTRE DE TURBULENCE DE SILLAGE

## AIRBUS A319-114 C-GBHZ
## EXPLOITÉ PAR AIR CANADA
## À LA VERTICALE DE L'ÉTAT DE WASHINGTON (ÉTATS-UNIS)
## LE 10 JANVIER 2008



Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le seul but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

# Rapport d'enquête aéronautique

# Rencontre de turbulence de sillage

# Airbus A319-114 C-GBHZ
# exploité par Air Canada
# à la verticale de l'État de Washington (États-Unis)
# le 10 janvier 2008

# Rapport numéro A08W0007

## *Sommaire*

Le 10 janvier 2008, l'Airbus A319-114 immatriculé C-GBHZ, numéro de série 0813, exploité par Air Canada, effectue un vol régulier (vol ACA190) entre l'aéroport international de Victoria (Colombie-Britannique) et l'aéroport international de Toronto/Lester B. Pearson (Ontario) avec 83 passagers et 5 membres d'équipage à son bord. L'avion vole en palier au niveau de vol (FL) 350 et suit un Boeing 747-400 de United Airlines (vol UAL896) qui vole en palier en croisière au FL 370 à la verticale de l'État de Washington (États-Unis). Lorsque l'espacement entre les deux avions augmente à 8,1 milles marins (nm) (l'avion du vol UAL896 étant devant), le contrôle de la circulation aérienne des États-Unis autorise le vol ACA190 à monter du FL 350 au FL 370 (son altitude de vol prévue). À 6 h 48, heure normale du Pacifique, alors que le vol ACA190 franchit le FL 366 en montée, à une distance de 10,7 nm derrière le vol UAL896, de brusques secousses sont ressenties à bord du vol ACA190, suivies d'une série de mouvements de roulis. Pendant les oscillations en roulis, l'avion poursuit sa montée jusqu'au FL 369, puis redescend au FL 355 où l'équipage réussit à remettre l'avion en vol rectiligne en palier. L'équipage déclare une situation d'urgence et se déroute sur l'aéroport international de Calgary (Alberta) où il atterrit sans incident à 7 h 28. Huit passagers et membres d'équipage ont été légèrement blessés. Trois autres personnes ont subi des blessures graves en raison de chutes et de collisions avec divers éléments de la cabine.

*This report is also available in English.*

# *Autres renseignements de base*

Les données de l'enregistreur numérique de données de vol (DFDR)[1] des deux avions ont été extraites en vue de les analyser.

Peu après son décollage de Victoria (Colombie-Britannique), le vol ACA190 a été autorisé par le centre de contrôle régional (CCR) de Vancouver (Colombie-Britannique) à se rendre à l'intersection IWACK et à maintenir le niveau de vol (FL) 330. À ce moment, le vol UAL896, qui venait de Hong Kong et se dirigeait vers l'est en direction de Chicago O'Hare, Illinois, aux États-Unis, au FL 370, était aussi sous le contrôle du CCR de Vancouver.

À 6 h 33[2], le CCR de Vancouver a autorisé le vol ACA190 à monter au FL 350 et a avisé les pilotes qu'ils suivaient un Boeing 747.

À 6 h 43, le contrôle des vols UAL896 et ACA190 et les communications avec ces avions ont été transférés au CCR de Seattle qui a avisé le vol ACA190 que l'autorisation de monter du FL 350 au niveau de vol prévu (le FL 370), lui serait accordé dès que l'espacement avec le vol de United qui le précédait serait suffisant. Le vol UAL896 avait une vitesse de croisière légèrement plus rapide (490 nœuds) que celle du vol ACA190 (450 nœuds). Les deux avions étaient sur des trajectoires légèrement divergentes puisque le vol ACA190 suivait une trajectoire de 078 °M alors que le vol UAL896 était sur une trajectoire de 081 °M.

À 6 h 45, alors que le vol UAL896 se trouvait à 8,1 milles marins (nm) devant le vol ACA190, l'équipage du vol ACA190 a reçu l'autorisation de monter au FL 370. Les pilotes du vol ACA190 ignoraient la distance qui les séparait du vol UAL896 (voir l'Annexe A – Carte des trajectoires de vol), et le contrôle de la circulation aérienne (ATC) ne les a pas avertis des risques de turbulence de sillage.

## *Dynamique du vol*

À 6 h 48, le vol ACA190 se trouvait à 9 nm au sud de la frontière qui sépare le Canada des États-Unis, dans le nord de l'État de Washington, et à 34 nm à l'est de l'intersection IWACK et franchissait en montée, les ailes à l'horizontale, le FL 366 lorsqu'il a subi trois secousses brusques comparables à celles produites par le passage d'une voiture sur un dos d'âne. Ces secousses ont été suivies immédiatement par une inclinaison à droite de 5,6° que le pilote automatique a immédiatement contré en agissant sur la commande des ailerons. L'avion s'est ensuite incliné de 27,8° vers la gauche, et le pilote automatique a réagi. Alors que l'inclinaison

---

1 Voir l'Annexe D pour la signification des sigles et abréviations.

2 Les heures sont exprimées en heure normale du Pacifique (temps universel coordonné moins huit heures).

atteignait son maximum, le commandant de bord, qui était le pilote aux commandes, a débrayé le pilote automatique et les automanettes puis a essayé de corriger le roulis. L'avion a ensuite effectué 4 mouvements de roulis successifs d'une ampleur allant de quelques degrés à un maximum de 55° (voir l'Annexe B – Données DFDR) avant de se redresser tout en subissant des oscillations mineures.

Pendant les 18 secondes qu'a duré l'événement, le cap a varié de 065 °M à 086 °M. Le commandant de bord a contré les mouvements de roulis en effectuant au total 9 sollicitations en roulis sur le mini-manche latéral, accompagnées de mouvements coordonnés du palonnier. Les 5 premières sollicitations étaient à course maximale (20°). Le pilote a effectué 7 sollicitations consécutives du palonnier et 6 inversions cycliques de gauche à droite. Chaque mouvement du palonnier a entraîné un braquage de la gouverne de direction (braquage maximal enregistré de 6° à gauche et de 7° à droite).

L'analyse des données DFDR a révélé que pendant l'événement, les accélérations verticales ont atteint des pointes de +1,57*g* et de -0,77*g*[3]. Les accélérations latérales ont atteint des pointes de +0,49*g* (vers la droite) et de 0,46*g* (vers la gauche) pendant 4 oscillations.

De 6 h 48 min 7 à 6 h 48 min 25, les sollicitations en roulis sur le mini-manche latéral étaient déphasées de 90° par rapport au mouvement de l'avion. De 6 h 48 min 7 à 6 h 48 min 15, les accélérations latérales et les variations de cap étaient déphasées d'environ 90° par rapport aux mouvements du palonnier. Cela signifie qu'une fois le pilote automatique débrayé, la plupart des mouvements de l'avion dans l'axe de roulis ont été causés par les sollicitations du pilote sur le mini-manche latéral et que les accélérations latérales ont été principalement causées par les sollicitations du pilote sur le palonnier. Les mouvements du palonnier, qui étaient coordonnés avec les sollicitations en roulis déphasées, avaient un lien direct avec les charges exercées sur la dérive. Les accélérations anormales dans l'axe normal ou vertical avaient un rapport avec les modifications de l'angle d'attaque, et les sollicitations en tangage sur le mini-manche latéral contraient ces changements d'angle d'attaque.

Après avoir stabilisé l'avion au FL 355, l'équipage a informé l'ATC qu'il avait des problèmes de commandes de vol et qu'il pilotait avec des capacités réduites des commandes de vol. Il a ensuite été autorisé à descendre au FL 310. Même s'il était plus près de l'aéroport de Kelowna (Colombie-Britannique), l'équipage a décidé de se dérouter sur l'aéroport de Calgary (Alberta) en raison du relief moins accidenté dans cette direction et des installations médicales et aéroportuaires à cet endroit. Comme il croyait qu'une défaillance du calculateur de commandes de vol était à l'origine de l'événement, l'équipage n'a pas rebranché le pilote automatique et a piloté l'avion manuellement.

## *Conditions météorologiques*

Le National Center for Atmospheric Research des États-Unis a effectué une analyse de l'atmosphère supérieure à proximité du lieu de l'événement. Il n'y avait aucun système météorologique particulier dans le secteur au moment de l'événement. Les diagnostics de configuration de pression, d'écoulement du vent et d'ondes de relief de même que les comptes

---

3 Le facteur de charge correspond à l'accélération d'un corps par rapport à l'accélération due à la pesanteur. La charge exercée sur un corps immobile qui repose à la surface de la terre est de 1*g*.

rendus des pilotes ne faisaient état que d'un risque de turbulence légère dans le secteur. Les vols ACA190 et UAL896 se déroulaient au-dessus des nuages dans un air limpide, et aucun des avions n'a traversé de turbulences importantes dans le secteur immédiatement avant ou après l'événement. Les données DFDR indiquent qu'au FL 370 le vent soufflait du 270 °M à 52 nœuds.

## *Renseignements sur l'avion*

L'avion était certifié et entretenu conformément à la réglementation en vigueur et aux procédures approuvées. L'enquête n'a révélé aucune condition ou défaut préexistant qui aurait pu contribuer à l'événement. C'est la première fois que le C-GBHZ était impliqué dans un événement nécessitant une inspection en raison d'un facteur de charge excessif.

## *Lois de commandes de vol*

L'Airbus A319 est doté d'un système de commandes de vol électriques. Il n'y a donc aucun lien mécanique direct entre le mini-manche latéral et les gouvernes de tangage et de roulis. Les mouvements du palonnier ne sont pas gérés par un calculateur de commandes de vol; le palonnier est relié directement à la servocommande de direction par l'intermédiaire de câbles, comme sur un avion conventionnel. Les sollicitations en tangage et en roulis sont traitées par des calculateurs de commandes de vol numériques qui commandent le braquage des gouvernes à alimentation hydraulique en respectant les lois de commandes de vol établies. Ces lois permettent d'assurer la protection du domaine de vol contre les situations dangereuses en vol en surveillant la vitesse, l'angle d'inclinaison, l'angle d'attaque, le facteur de charge (*g*) et l'assiette en tangage. Pour les opérations habituelles au sol et en vol, la loi normale s'applique. Dans certaines conditions, la loi normale peut être remplacée par une des trois autres lois suivantes : la loi de substitution, la loi en cas d'assiette inhabituelle et la loi directe, selon la phase de vol, l'état de fonctionnement des systèmes électroniques de commandes de vol et les conditions d'exploitation. Le passage d'une loi à une autre est régi par des paramètres précis. Le pilote ne peut choisir directement la loi de commande de vol, mais certaines mesures, comme la sortie du train, peuvent faire changer la loi en vigueur.

- Loi normale

  Il s'agit de la loi qui s'applique en exploitation normale. Elle permet d'améliorer la stabilité et d'assurer la protection du domaine de vol dans différentes situations (angle d'attaque élevé, limite du facteur de charge verticale, variations importantes des assiettes en tangage et en roulis, vitesse élevée, faible énergie). Elle assure la coordination en virage (lacet). Lorsque la loi normale s'applique, l'avion ne peut pas décrocher.

- Loi de substitution

  Cette loi s'applique lorsqu'il y a défaillances multiples des systèmes redondants de commandes de vol et des systèmes électroniques. Elle comporte deux niveaux : avec ou sans protection. La loi de substitution avec protection comprend la fonction de stabilité de vitesse (faible et grande vitesse) et offre une protection du facteur de charge. La loi de substitution sans protection offre uniquement une protection du facteur de charge. Lorsque la loi de substitution s'applique, le pilote automatique fonctionne.

- Loi directe

  Il s'agit du niveau de commandes de vol automatisé le plus bas. Lorsque cette loi s'applique, il n'y a plus aucune protection et l'avion peut décrocher. Il y a un lien direct entre les sollicitations sur le mini-manche latéral et le braquage des gouvernes. La position des gouvernes de profondeur est réglée en fonction du centre de gravité de l'avion. La loi directe remplace automatiquement la loi de substitution à la sortie du train lorsque le pilote automatique est débrayé. L'avion peut décrocher lorsque la loi de substitution et la loi directe sont en vigueur.

- Loi en cas d'assiette inhabituelle

  Cette loi s'applique temporairement dans des conditions de manœuvres extrêmes causées par des problèmes de tangage, de roulis, d'angle d'attaque et de vitesse. Lorsque l'assiette est rétablie, les dispositions de la loi de substitution s'appliquent pour le tangage et le lacet, et celles de la loi directe pour le roulis. Il n'y a pas passage à la loi directe à la sortie du train.

Un dispositif mécanique auxiliaire permet au pilote de contrôler l'avion à l'aide des commandes manuelles de compensation et de direction pendant une perte temporaire de l'alimentation électrique.

Les lois de commandes de vol permettent de calculer le braquage de la dérive requis pour assurer un virage coordonné et contrer la tendance au roulis hollandais, mais elles n'offrent aucune protection du domaine de vol en cas de lacet et ne peuvent pas contrer les effets d'une utilisation excessive du palonnier.

## *Messages de l'ECAM et message « Disagree » de l'ADIRU*

L'Airbus A319 est doté d'un moniteur électronique centralisé de bord (ECAM) qui fournit à l'équipage de conduite des messages sur l'état de l'avion ainsi que des messages d'avertissement et d'alarme. Au moment de l'événement, le voyant principal d'avertissement/alarme s'est allumé et de nombreux messages se sont affichés sur l'ECAM.

À 6 h 48 min 14, un message d'alarme « FCTL ADR DISAGREE[4] » s'est affiché et la loi de commandes de vol de substitution est entrée en vigueur. Selon l'analyse effectuée par Airbus, cette alarme a été déclenchée, car les unités de référence inertielle anémobarométrique (ADIRU) ont enregistré des angles d'attaque différents causés par le dérapage. L'angle d'attaque limite de déclenchement de l'alarme « DISAGREE » en vol rectiligne en palier est de 3,6°. Les systèmes de référence anémobarométrique ont bien fonctionné pendant l'événement. Des messages d'alarme de quantité d'huile moteur et de liquide hydraulique se sont aussi affichés sur l'ECAM en raison du déplacement du liquide dans les réservoirs causé par les changements d'assiette et les facteurs de charge inhabituels.

À 6 h 48 min 17, les deux directeurs de vol se sont débrayés pendant moins de deux secondes. La loi de substitution des commandes de vol est restée en vigueur pour le reste du vol. Aucune condition de vol n'a nécessité l'application de la loi en cas d'assiette inhabituelle.

## *Inspection de l'avion après l'événement*

À la suite de l'événement, l'avion a fait l'objet d'un point fixe moteur et d'une vérification complète des commandes de vol. Aucune défaillance du calculateur de commandes de vol n'a été décelée, et toutes les fonctions étaient normales. Une vérification en cas de fortes turbulences décrite dans le manuel de maintenance de l'aéronef (AMM) 05-51-200-001 a aussi été effectuée. L'analyse des données DFDR révèle que des accélérations latérales[5] supérieures aux limites établies par Airbus ont été enregistrées. La dérive a été enlevée et soumise à des inspections visuelles et à des essais non destructifs effectués conjointement par Air Canada et Airbus. Aucun dommage structural n'a été décelé au niveau de la dérive ni des ferrures de fixation. Aucune des instructions de maintenance des Airbus A318/A319/A320/A321 qui datent d'avant l'événement ne précise que la dérive doit être inspectée lorsqu'un avion est soumis à de fortes charges latérales.

Les ferrures de fixation de la dérive et du fuselage arrière ont subi des charges qui correspondent respectivement à 129 et à 121 % de la charge limite. La norme de certification 25.303 des *Federal Aviation Regulations* (FAR 25.303) établit le « facteur de sécurité » à au moins 150 % de la charge limite. Au moment de l'essai de certification de la dérive et des ferrures de fixation de l'A319, il a été déterminé que le facteur de sécurité était supérieur à 150 % de la charge limite. En raison des limites de capacité du matériel d'essai, il n'a pas été possible de déterminer la limite de résistance supérieure. La dérive du C-GBHZ faisait partie des composants d'origine de l'avion.

## *Renseignements sur l'équipage*

L'équipage de conduite possédait les licences et les qualifications nécessaires au vol et en vertu de la réglementation en vigueur.

---

4 FCTL ADR DISAGREE = Flight Control Air Data Reference Disagree (conflit entre les commandes de vol et la référence anémobarométrique)

5 Les accélérations sont captées près du centre de gravité de l'avion.

Le commandant de bord travaillait pour Air Canada depuis 1999. Il totalisait environ 8500 heures de vol, dont plus de 3000 sur type, dont 500 en tant que pilote commandant de bord. Il était instructeur principal sur A320 et il participait au programme de formation de l'entreprise sur le Boeing 777. Avant de se présenter au travail le 10 janvier 2008, il avait bénéficié de 16 heures de repos.

Le copilote totalisait environ 4800 heures de vol, dont 591 sur type. Il travaillait pour Air Canada depuis octobre 2006. Au moment de son embauche par Air Canada, il n'avait aucune expérience des avions à réaction de la catégorie transport. Il était revenu de Toronto en mise en place le 8 janvier 2008, et avant de prendre son service à bord du vol ACA190, il avait bénéficié de 29 heures de repos.

Le jour de l'événement, les deux pilotes avaient pris leur service vers 5 h.

## *Réactions du pilote face à une perte de contrôle en vol*

Il y a certaines similitudes entre les actions du pilote du vol ACA190 à la suite de la perte de contrôle du C-GBHZ et celles qui ont contribué à un accident d'avion qui s'est produit en 2001 et qui a fait l'objet d'une enquête (NTSB/AAL-04/04) par le National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis. Au cours de cet accident, l'Airbus A300-605R qui assurait le vol 587 d'American Airlines (AAL587) s'est retrouvé dans la turbulence de sillage d'un Boeing 747-400. L'enquête a déterminé qu'à des vitesses aérodynamiques élevées, l'enfoncement maximal du palonnier d'un côté à l'autre (parfois appelé inversion de la direction) peut soumettre la dérive à des charges aérodynamiques qui dépassent les limites de conception. Dans l'accident du vol AAL587, des inversions maximales de la direction avaient provoqué des accélérations latérales élevées qui avaient entraîné la rupture de la dérive, car les charges exercées sur la dérive avaient dépassé les limites de charge ultimes.

Le rapport d'enquête du NTSB fait référence à une étude spéciale sur les pertes de contrôle en vol d'avions multimoteurs à turboréacteurs aux États-Unis, qui ont presque toutes été causées par de la turbulence de sillage. Dans 11 des 33 cas, les pilotes ont indiqué qu'ils avaient agi sur le palonnier lors de la tentative de rétablissement.

Dans une recommandation ultérieure (recommandation A-04-059) faite à la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis, le NTSB soulève certaines préoccupations relatives aux programmes de formation des pilotes qui ne traitent pas suffisamment des risques liés à l'inversion de la direction pour contrer le roulis à bord des aéronefs de la catégorie transport. Il a aussi été déterminé que certains exploitants se servaient de simulateurs pour enseigner aux pilotes comment réagir en cas de perte de contrôle de l'appareil mais que cela nuisait aux pilotes, car ils développaient des automatismes qui ne convenaient pas aux conditions d'assiette inhabituelles en roulis.

En réponse à la recommandation A-04-059, Airbus et Boeing ont élaboré conjointement du matériel de formation et ont révisé le matériel consacré au rétablissement en cas de perte de contrôle d'un avion (Airplane Upset Recovery Training Aid ou AURTA) dont la publication remonte à 1996. Le matériel de formation AURTA comprend une partie écrite et une vidéo. En juin 2004, Airbus a envoyé à tous les exploitants d'Airbus à travers le monde le bulletin FCOM n° 828/1 consacré au manuel d'utilisation destiné aux équipages de conduite (Flight Crew Operations Manual ou FCOM). Ce bulletin précisait qu'à bord des aéronefs de la catégorie

transport, le palonnier ne devait être utilisé que pour garder le contrôle de l'aéronef à l'atterrissage et au décollage et lors de pannes moteur. Le bulletin mettait aussi les pilotes en garde contre l'enfoncement maximal du palonnier et l'inversion de la direction lors d'un rétablissement à la suite d'une perte de contrôle à vitesse élevée. Air Canada a inséré le bulletin dans les manuels d'utilisation (aircraft operating manual ou AOM) des Airbus A319/A320/A321. En 2005, la FAA a publié la Safety Alert for Operators (SAFO) 05002 qui présente le matériel de formation et qui met en garde contre l'inversion de la direction et les oscillations induites par le pilote.

À la suite de la publication par le NTSB des premières données sur l'accident du vol AAL587, Transports Canada Aviation civile a publié la Circulaire d'information de l'Aviation commerciale et d'affaires (CIACA) n° 0206, Surcharge structurale des avions de la catégorie transport causée par des sollicitations du gouvernail de direction, qui recommande que « les exploitants diffusent cette information aux pilotes en guise de sensibilisation et que, dans les cas où c'est pertinent, des programmes appropriés de formation des pilotes soient établis afin d'éviter cette situation dangereuse. »

Avant l'événement du vol ACA190, les pilotes d'Air Canada avaient pu consulter le bulletin FCOM n° 828/1 au moment de leur formation initiale sur type. Le manuel de formation de l'équipage de conduite (Flight Crew Training Manual ou FCTM) de l'entreprise traitait des risques liés aux inversions de la direction, mais il ne mentionnait pas la turbulence de sillage. L'inversion de la direction ne faisait pas partie du plan de cours de la formation périodique annuelle. Le commandant de bord du vol ACA190 avait suivi sa dernière formation périodique annuelle en décembre 2007. Le copilote avait suivi sa formation initiale sur type en janvier 2007. Le matériel AURTA, qui se trouve dans la partie du site Web de l'entreprise qui traite des Airbus A330/A340, n'était pas facilement accessible aux pilotes d'Airbus A319/A320. La formation en simulateur sur les pertes de contrôle, offerte par Air Canada, portait surtout sur le rétablissement à la suite de changements d'assiette inhabituels en tangage et traitait peu de l'utilisation appropriée du palonnier pendant un rétablissement à la suite d'importants mouvements autour de l'axe de roulis. Un sondage effectué auprès des exploitants canadiens d'aéronefs de la catégorie transport a permis de constater que le programme de formation de la plupart de ces exploitants portant sur les pertes de contrôle était semblable à celui d'Air Canada puisque la formation en simulateur et la formation au sol étaient surtout axées sur le rétablissement à la suite de mouvements autour de l'axe de tangage.

En 1995, le National Research Council des États-Unis a publié un rapport sur les événements liés à un couplage avion-pilote (aircraft-pilot coupling). Au cours de ces événements, le pilote modifie généralement sa stratégie et applique des corrections importantes aux commandes plutôt que d'agir en douceur sur les commandes, même si l'erreur à corriger est mineure. Ces manœuvres provoquent souvent un déphasage qui force le pilote à modifier l'assiette. Il a été noté que ce genre d'événement était généralement précédé d'un changement au niveau de l'environnement ou de l'aéronef.

Un des effets négatifs biens connus de l'automatisation est la mise hors circuit du personnel navigant[6]. Dans certains cas, par exemple lorsqu'un système automatisé réagit face à une situation inhabituelle mais que le pilote n'en est pas informé, celui-ci peut croire que le problème a été causé par une défaillance du système automatisé et prendre des mesures pour pallier à cette supposée défaillance et passer à côté du véritable problème. En d'autres termes, la compréhension qu'a le pilote de la situation à bord et de son environnement est incorrecte, car il n'a pas agi directement sur les commandes. Plus la situation est complexe, plus les chances qu'il se remette dans le circuit en situation d'urgence sont minces. Si le pilote se trouve hors circuit, une situation d'urgence inattendue peut donner lieu à un couplage avion-pilote.

Il se peut qu'un pilote qui est surpris par une situation inattendue ne réagisse pas immédiatement en fonction de la formation qu'il a reçue et de son expérience et qu'il agisse finalement sur les commandes d'une façon qui ne convient pas à la situation. Les pilotes du vol ACA190 avaient déjà été confrontés à de la turbulence de sillage légère, mais c'était la première fois qu'ils faisaient face à une perte de contrôle aussi importante. En raison des limites actuelles en matière de fidélité des simulateurs de vol à reproduction intégrale des mouvements et des attentes liées aux scénarios de formation, il est difficile de reproduire les conditions rattachées à la présence inattendue de turbulence de sillage.

## *Circuit de commande de la gouverne de direction*

Le circuit de commande de la gouverne de direction de l'A319 comporte un système hydromécanique qui relie par câbles le palonnier à un module différentiel situé dans la dérive et des tiges-poussoirs à trois servocommandes indépendantes. Un amortisseur de lacet relié au module différentiel aide à assurer la stabilité en lacet par rapport à l'axe vertical.

Sur les avions à réaction de la catégorie transport, un braquage important de la gouverne de direction à vitesse élevée peut soumettre la dérive et les ferrures de fixation à des charges aérodynamiques qui dépassent les limites structurales. Le débattement de la gouverne de direction est donc limité automatiquement en fonction de la vitesse corrigée en nœuds (KCAS) pour éviter toute surcharge. Selon le fonctionnement du circuit de commande de l'A319, le braquage de la gouverne de direction est directement proportionnel au mouvement du palonnier. Le débattement maximal de 30º de la gouverne de direction que l'on peut atteindre par une course de 4 pouces du palonnier est réduit progressivement à mesure que la vitesse augmente au-delà de 160 KCAS. Le débattement maximal vers la gauche ou la droite à 250 KCAS est de 8,3º. Pour atteindre ce débattement, il faut enfoncer le palonnier de 1,14 pouce en exerçant une pression de 36,5 livres. Le circuit de commande de la gouverne de direction à butée variable[7] de l'A319 fonctionne sensiblement de la même façon que celui de l'A300-600. La course du palonnier est limitée par le limiteur de débattement de la direction; il faut donc exercer relativement peu de pression sur une distance relativement courte pour atteindre le débattement maximal à vitesse élevée. Sur l'A300-600, une force de 36,4 livres exercée sur le

---

6 M.R. Endsle, « Situation awareness in aviation systems » tiré de D. J. Garland, J. A. Wise et V. D. Hopkin (Eds.), *Handbook of Aviation Human Factors*, Mahwah (New Jersey), Lawrence Erlbaum Associates, 1999, p. 257-276.

7 Dans un circuit à butée variable, des niveaux de commande fixes permettent de contrôler le braquage de la gouverne. Un déplacement moindre du palonnier suffit pour obtenir le braquage maximal permis à mesure que la vitesse augmente.

palonnier sur une distance de 1,2 pouce assure un braquage de la gouverne de direction de 9,3° à 250 nœuds. Sur les deux modèles, le débattement de la gouverne n'est pas réduit automatiquement lors d'un dérapage.

Au cours de l'enquête sur l'accident du vol AAL587, le NTSB a déterminé que la sensibilité[8] du palonnier du circuit de commande de la gouverne de direction de l'A300-600 à vitesse élevée augmentait les risques qu'une inversion de direction entraîne un braquage maximal de la gouverne de direction. Cela augmentait les possibilités de dérapage d'un côté et de l'autre à vitesse élevée accompagné de charges structurales élevées sur la dérive. À la suite de cette constatation, le NTSB a recommandé à la FAA de modifier les normes de certification de la partie 25 des FAR afin d'assurer de bonnes qualités de vol dans l'axe de lacet dans tout le domaine de vol et d'établir des limites en matière de sensibilité du palonnier (recommandation A-04-056). Le NTSB a ensuite recommandé à la FAA d'exiger que des modifications soient apportées aux avions existants pour qu'ils soient protégés contre les effets néfastes d'un couplage avion-pilote à la suite de sollicitations de la gouverne de direction à vitesse élevée (recommandation A-04-057). Une fois ces recommandations publiées, Airbus a adopté une modification en rattrapage facultative applicable au limiteur de débattement de direction de l'A300. Les événements qui se sont produits au moment de l'événement du vol AAL587 et qui ont conduit à la modification facultative au circuit de commande de la gouverne de direction étaient différents de ceux qui se sont produits à bord du vol ACA190. Le pilote du vol AAL587 avait exercé une pression importante et constante sur le palonnier au moment où l'avion prenait de la vitesse, empêchant ainsi le limiteur de débattement de direction de bien fonctionner. Le pilote du vol ACA190 a exercé des pressions de courte durée sur le palonnier dans les limites du limiteur de débattement. Par conséquent, même si une modification semblable à celle offerte pour l'A300-600 avait été effectuée sur l'A319, cela n'aurait probablement rien changé au dénouement de l'événement. Aucune modification n'est prévue au circuit de commande de la gouverne de direction des Airbus A319/A320.

## *Recherche sur la turbulence de sillage*

Selon l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), la turbulence de sillage est due à des masses d'air tournantes engendrées derrière les extrémités d'aile des aéronefs à réaction de gros tonnage[9]. Ces tourbillons, qui résultent de la portance de l'avion, ont tendance à prendre de l'expansion, à descendre, à se déplacer latéralement et à dériver avec le vent avant de se dissiper, et ils se dissipent plus lentement lorsque l'atmosphère est stable et qu'il y a peu de turbulence mécanique. Un sillage tourbillonnant peut entraîner des pertes de contrôle en roulis et en tangage qu'aucune action sur les commandes ne pourra corriger. Le fait d'entrer dans un tourbillon perpendiculairement à son axe peut causer des changements rapides de l'assiette en tangage.

---

8 La sensibilité est fonction du degré de braquage de la gouverne obtenu et des réactions de l'avion à la suite d'une commande du pilote. La réaction à une commande agissant sur un circuit de commande sensible est plus rapide.

9 OACI, *Manuel de planification des services de la circulation aérienne* (Doc 9426), 2/11/88

Les effets de la turbulence de sillage sont connus depuis les années 1950, et les risques inhérents à la turbulence de sillage ont été présentés dans de nombreuses études effectuées par différents organismes comme la National Aeronautics and Space Administration (NASA), la FAA et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) et par des constructeurs d'aéronefs. Les résultats de ces études ont mené à l'établissement de normes d'espacement qui s'appliquent principalement à l'arrivée et au départ des avions. Ces normes ont fait l'objet de modifications, mais elles sont toujours en vigueur. L'espacement est fondé sur la distance dans un environnement radar et sur le temps dans un environnement non radar.

Ces normes sont résumées dans le tableau ci-après.

| SITUATION | TEMPS | DISTANCE (radar) |
|---|---|---|
| Aéronef lourd[10] dans le sillage d'un aéronef lourd | 2 ou 3[11] minutes | 4 milles |
| Aéronef moyen dans le sillage d'un aéronef lourd | 2 ou 3 minutes | 5 milles |
| Aéronef léger dans le sillage d'un aéronef lourd | 2 ou 3 minutes | 6 milles |
| Aéronef léger dans le sillage d'un aéronef moyen | 2 ou 3 minutes | 4 milles |

En juin 2007, à la suite des travaux effectués par le groupe directeur chargé d'étudier les tourbillons de sillage de l'Airbus A380, groupe dont font partie les Autorités conjointes de l'aviation (Joint Aviation Authorities ou JAA) européennes, l'Organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne (Eurocontrol), la FAA et Airbus, il a été jugé qu'un examen global des dispositions relatives à la turbulence de sillage, y compris la méthode de classification en vigueur de la turbulence de sillage, devait être effectué. En octobre 2007, l'OACI a publié une lettre d'État qui demandait à tous les États signataires de recueillir des données sur les cas de rencontre de turbulence de sillage afin de pouvoir bien documenter les modifications qui pourraient être apportées aux dispositions relatives à la turbulence de sillage (Réf. : AN13/4-07/67). Une fois l'analyse des renseignements terminée, des modifications aux recommandations du groupe directeur seront soumises pour évaluation par la Commission de navigation aérienne. Au moment de la publication du présent rapport, le groupe directeur n'avait encore fait aucune recommandation.

---

10 Un aéronef léger est un aéronef ayant une masse maximale certifiée au décollage de 7000 kilogrammes (15 500 livres) ou moins; un aéronef moyen est un aéronef ayant une masse maximale certifiée au décollage de plus de 7000 kilogrammes (15 500 livres) mais de moins de 136 000 kilogrammes (300 000 livres); un aéronef lourd est un aéronef ayant une masse maximale certifiée au décollage de 136 000 kilogrammes (300 000 livres) ou plus.

11 Le *Manuel d'exploitation du contrôle de la circulation aérienne* (MANOPS ATC) exige un espacement de trois minutes dans certaines conditions de décollage et selon l'endroit où a lieu la rotation.

Au cours de recherches effectuées de 2004 à 2008, le CNRC a utilisé un avion Falcon 20 et un avion T-33 dotés d'instruments pour voler à proximité et à l'intérieur de tourbillons de sillage générés par de gros avions, y compris des Boeing 767-300 et des Boeing 747-400[12]. Des tourbillons capables d'influer sur le contrôle en lacet et en roulis et de causer des pointes de charge ont été détectés à des distances de 25 nm, et des tourbillons pouvant causer d'importantes pertes de contrôle ont été détectés à des distances de 8 à 16 nm alors que le sillage n'était formé que depuis une à deux minutes. Pendant un des vols, les perturbations étaient telles que le Falcon 20 s'est incliné de plus de 90° et qu'il a connu une extinction réacteur causée par l'ingestion des tourbillons dans son générateur de gaz. Pendant les recherches, on a observé que les tourbillons générés par un Boeing 747-400 pouvaient descendre à une vitesse de 500 pieds à la minute et jusqu'à 770 pieds sous le générateur de sillage. Des turbulences mesurables ont été détectées jusqu'à 20 nm à l'arrière et 1000 pieds au-dessous de l'avion générateur de tourbillons.

À la demande du BST, le CNRC a analysé les données météorologiques et les données DFDR des vols ACA190 et UAL896[13]. Les résultats de l'analyse démontrent que le vol ACA190 a été soumis à une charge atmosphérique externe qui correspond à un important champ de tourbillons de sillage cohérent[14]. Les tourbillons qui ont frappé le vol ACA190 avaient été générés seulement 84 secondes auparavant par l'avion du vol UAL896.

La fiche de données de certificat de type numéro A-166 de Transports Canada précise que la base de certification de l'A319 comprend le modificatif 13 des paragraphes 25.341 et 25.349(b) des *Joint Aviation Requirements* (JAR), modificatif qui est visé par le modificatif Orange Paper 91/1. La fiche de données de certificat de type numéro A28NM de la FAA précise que la base de certification de l'A319 comprend le modificatif 86 des FAR 25.341 et 25.349(b). Ces normes sont harmonisées, et le modificatif 25-86 de la FAR /JAR 25.349 harmonisé, en vertu duquel l'A319-114 a été certifié, précise les critères de calcul des rafales verticales asymétriques maximales, en palier, applicables à l'obtention d'un certificat de navigabilité.

La vitesse nominale de rafale discontinue à laquelle les avions doivent résister, selon la FAR 25.341, est de 33 pieds par seconde à 37 000 pieds au-dessus du niveau de la mer (asl). Le vol ACA190 a été soumis à une rafale dont la vitesse atteignait 74 pieds par seconde, soit 124 % de plus que la norme de certification. Même si la forme de la rafale précisée dans la FAR 25.341 ne s'applique pas nécessairement à tous les cas d'entrée dans le cœur des tourbillons, on peut considérer que le scénario constitue un bon test de la conception structurale de l'avion.

---

12 Rapports LTR-FR-218 et LTR-FR-219 de l'Institut de recherche aérospatiale

13 Conseil national de recherches du Canada, Wake Vortex Considerations in the Analysis of Recorded Data from the Upset to Flight AC190, rapport LTR-FR-289, A.P. Brown, février 2008.

14 Dans le contexte, un champ de vent cohérent correspond à la rotation en spirale de l'atmosphère dans le sillage d'un aéronef, produite par la paire de tourbillons contrarotatifs qui se forment près de l'extrémité des ailes de l'aéronef. Ce phénomène s'oppose à une turbulence chaotique dont les limites sont définies, comme par exemple la turbulence mécanique que l'on retrouve à la surface de la terre par temps venteux.

## *Autres événements liés à la turbulence de sillage*

Entre 1999 et 2009, au moins 74 événements liés à la rencontre de turbulence de sillage en vol se sont produits en Amérique du Nord ou ont impliqué des avions à destination ou en provenance de l'Amérique du Nord. Un certain nombre de ces cas ont été signalés à des organismes d'enquête gouvernementaux, et les autres ont été répertoriés à partir de rapports d'entreprises et de systèmes de comptes rendus confidentiels. Ces événements ont tous entraîné une perte de contrôle de l'appareil, à des degrés divers, et certains ont même causé des blessures aux occupants. Dans tous les cas, les normes d'espacement minimales de l'ATC avaient été respectées.

## *Normes d'espacement de l'ATC*

Avant et pendant l'événement, les unités ATC de Vancouver et de Seattle ont assuré un espacement vertical de 1000 pieds et un espacement latéral de 5 nm entre les deux avions conformément au *Manuel d'exploitation du contrôle de la circulation aérienne* (MANOPS ATC) de NAV CANADA et à l'ordonnance de la FAA n° 7110.65R Air Traffic Control. Tout en respectant la norme d'espacement radar latéral minimal, l'ATC a autorisé le vol ACA190 à monter au FL 370.

L'ordonnance de la FAA n° 7110.65R, 2-1-19, Wake Turbulence, et les sections 128 et 533 du MANOPS ATC de NAV CANADA traitaient de l'espacement radar requis pour éviter la turbulence de sillage au moment du décollage, de l'atterrissage et des procédures terminales. Les manuels de NAV CANADA et de la FAA précisaient que les contrôleurs pouvaient augmenter l'espacement et émettre des avertissements de turbulence de sillage au besoin. Les normes d'espacement pour la turbulence de sillage en vol établies pour les avions des différentes catégories de poids ne tenaient pas compte des vitesses de croisière élevées des avions à réaction.

## *Système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions (TCAS)*

Le C-GBHZ était équipé d'un système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions (TCAS) Collins, référence 622-8971-322, et de la version 32 de l'ordinateur de gestion des données. Ce dernier permettait d'afficher les aéronefs présentant un risque de collision uniquement lorsqu'il était réglé à sa portée d'exploitation normale de 40 nm, et les aéronefs se trouvant à proximité et ne présentant aucun risque de collision uniquement lorsqu'il était réglé à une portée inférieure à 40 nm. Puisque le vol UAL896 n'était pas considéré comme un intrus, il n'était pas affiché sur le système du vol ACA190. Des A319 portant d'autres numéros de série étaient dotés de la version 40 de l'ordinateur de gestion des données dont les portées s'étendent de 10 à 320 nm et qui permet d'afficher les aéronefs se trouvant à proximité à toutes les portées.

Le TCAS sert principalement à éviter les collisions lorsque les méthodes d'espacement normales échouent. Les pilotes ont été souvent avertis de ne pas utiliser ce système comme moyen d'assurer un espacement entre les aéronefs. On encourage les pilotes à utiliser les renseignements fournis par le TCAS pour améliorer leur conscience de la situation. Par contre, le TCAS ne peut pas être utilisé pour éviter la turbulence de sillage.

## *Blessures aux passagers et à l'équipage*

Au moment de la montée jusqu'au FL 350, le vol ACA190 a traversé des turbulences légères, et la consigne « attachez vos ceintures » est restée allumée jusqu'à ce que l'avion se mette en palier. Lorsque la consigne s'est éteinte, les agents de bord ont débuté le service cabine et certains passagers ont détaché leur ceinture et se sont levés. Avant que l'événement débute, la majorité des passagers assis avaient bouclé leur ceinture conformément à la politique d'Air Canada. Deux passagers qui se trouvaient dans les toilettes arrière ont été projetés violemment contre le plafond et les cloisons et l'un d'eux a été grièvement blessé. Certains passagers ont été légèrement blessés (coupures, ecchymoses, brûlures causées par des boissons chaudes, aggravation de blessures antérieures). Deux agents de bord qui effectuaient le service cabine ont été légèrement blessés lorsqu'ils ont été soulevés et projetés contre les sièges et les chariots de service. Malgré leurs blessures, les membres du personnel de cabine ont accompli leurs tâches de sécurité avec l'aide de passagers, dont du personnel d'Air Canada qui n'était pas en service.

Lorsque l'avion est arrivé à Calgary, les services médicaux d'urgence se trouvaient à la porte de débarquement et se sont occupés des blessés. Neuf personnes ont été transportées dans des hôpitaux de Calgary pour des examens et des soins.

## *Dommages aux chariots du service cabine et à l'intérieur de l'avion*

Lorsque l'avion s'est mis en palier au FL 350, les agents de bord ont sorti deux chariots pour effectuer le service cabine. Lorsque l'avion est entré dans les turbulences, les deux chariots ont été soulevés du plancher. L'un des chariots a heurté le plafond et a endommagé un panneau de plastique et la porte d'un compartiment de rangement supérieur; l'autre a endommagé la porte d'un compartiment de rangement supérieur. Les objets qui se trouvaient sur les chariots, y compris les cafetières et les aliments, ont été éparpillés dans la cabine. Les chariots de service à roulettes autostables constituent la norme au sein de l'industrie pour les avions de la catégorie transport. Il est d'usage dans l'industrie d'arrimer ces chariots lorsqu'ils ne sont pas utilisés; par contre, lorsqu'ils sont utilisés, il n'existe aucun moyen efficace de les fixer pour empêcher qu'ils se déplacent dans la cabine dans des situations d'accélération verticale et latérale inhabituelles.

Lors de l'événement, l'ordinateur portatif utilisé par un passager a heurté la porte d'un compartiment de rangement avec suffisamment de force pour y laisser une trace de peinture.

## *Déplacement des manuels dans le poste de pilotage*

Les documents et les manuels de l'avion étaient rangés dans des compartiments encastrés situés derrière les sièges des pilotes. Ces compartiments ne comportaient aucun moyen de retenir les manuels, et lors de l'événement, leur contenu a été éparpillé dans le poste de pilotage. Un gros manuel a effleuré la tête du commandant de bord, mais ne l'a pas blessé grièvement. Des documents se sont retrouvés au sol près de la porte du poste de pilotage et il a fallu les déplacer pour qu'un agent de bord puisse ouvrir la porte pour entrer dans le poste de pilotage. Airbus avait émise la modification n$^{o}$ 31378 pour les avions portant les numéros de série 1600 et suivants, qui consiste à poser des sangles de retenue sur les compartiments latéraux arrière où sont rangés les manuels et les documents. Cette modification ne s'appliquait pas au C-GBHZ (numéro de série 0813). Le bulletin de service d'Airbus ABA320-25-1268, émis en août 2001, et

qui a fait l'objet d'une révision le 25 mars 2002, autorisait que cette modification soit effectuée comme modification en rattrapage, mais elle n'a pas été appliquée aux Airbus A319/A320 d'Air Canada.

# *Analyse*

Les données DFDR indiquent que des forces externes exercées sur l'avion du vol ACA190 ont entraîné une perte de contrôle de l'appareil dans des conditions de vol stable et que cette perte de contrôle n'a pas été provoqué par les systèmes de commandes de vol de l'avion. Toutes les manœuvres commandées par le système de vol automatique dans les premiers instants de l'événement visaient à ramener l'avion en position de montée, les ailes à l'horizontale.

Une comparaison du comportement de l'avion du vol ACA190 et d'un avion utilisé par le CNRC pour effectuer des essais en vol et l'analyse cinématique des données DFDR ont démontré que le vol ACA190 a été confronté à de la turbulence causée par les tourbillons de sillage de l'avion du vol UAL896. Puisque le vent faisait un angle d'au plus 12° par rapport au sens de déplacement des deux avions, la trajectoire du vol ACA190 était alignée sur les tourbillons descendants. La stabilité de l'air et le peu de turbulence mécanique ont contribué au maintien de l'énergie cinétique des tourbillons. Cette énergie était suffisante pour causer d'importants changements d'assiette de l'avion du vol ACA190, y compris les changements d'assiette en tangage qui ont produit des forces d'accélération négatives et projeté des occupants et des objets contre différents éléments de lacabine.

Selon les données tirées de différentes bases de données, au moins 74 événements liés à la rencontre de turbulence de sillage en vol se sont produits en Amérique du Nord ou ont impliqué des avions à destination ou en provenance de l'Amérique du Nord. Les rapports et les résultats des programmes de recherche font état des risques de perte de contrôle importante que présentent les tourbillons de sillage pour les avions en vol. Les circonstances du présent événement suggèrent trois façons de réduire les risques liés aux tourbillons de sillage.

### *1. Normes d'espacement de l'ATC*

Puisque le vol ACA190 et le vol UAL 896 demandaient la même altitude au plan de vol, la stratégie d'espacement de l'ATC reposait sur le fait que le Boeing 747-400 se déplaçait légèrement plus rapidement que l'A319-114. Lorsque le vol UAL896 s'est trouvé à plus de 5 nm du vol ACA190, distance minimale permise selon la norme d'espacement radar latéral, l'ATC a pu autoriser le vol ACA190 à monter au FL 370, où se trouvait déjà le vol UAL896. L'effet des tourbillons de sillage générés par l'avion du vol UAL896 s'est prolongé sur plus du double de cette distance. À 450 nœuds, le vol ACA190 a parcouru cette distance en 84 secondes. Selon les recherches, ce temps n'est pas suffisant pour permettre à l'énergie contenue dans les tourbillons générés par un gros avion de bien se dissiper.

Les avions établis sur la même trajectoire qu'un avion plus lourd mais qui volent à un niveau inférieur sont plus à risque de traverser des tourbillons de sillage dangereux. Puisqu'un avion à réaction en vol peut parcourir en moins d'une minute la distance d'espacement radar latéral minimale de 5 nm permise selon la norme de l'OACI, de NAV CANADA et de la FAA, cette norme n'offre pas le même niveau de protection obligatoire contre les tourbillons de sillage pour les opérations IFR (règles de vol aux instruments) que pour les opérations à proximité des pistes. L'espacement entre l'avion du vol ACA190 et celui du vol UAL896 a été établi

uniquement à partir des normes existantes d'espacement latéral et vertical minimal (espacement vertical de 1000 pieds et espacement latéral de 5 nm) sans tenir compte de la force des tourbillons produits par l'avion du vol UAL896 et du peu de temps entre le moment où ils allaient être générés et celui où l'avion du vol ACA190 allait les traverser.

Comme le démontrent le présent événement et d'autres événements, les dispositions actuelles en matière d'évitement de la turbulence de sillage ne conviennent pas à toutes les situations, et plus particulièrement lorsque des avions volent à des vitesses de croisière derrière un avion plus gros à un niveau de vol inférieur. Les rencontres de turbulence de sillage imprévues peuvent augmenter les risques de blessures aux passagers et au personnel de cabine et de dommages structuraux aux avions. Ces risques sont liés aux vitesses de rafale élevées auxquelles les avions sont exposés, aux angles de dérapage et aux accélérations anormales. Depuis l'événement du vol ACA190, d'autres cas documentés de rencontre de turbulence de sillage ayant provoqué d'importants changements d'assiette dans des conditions de vol stable se sont produits. Puisque les normes d'espacement minimal étaient respectées au moment de ces événements, il se peut que le respect de ces normes ne soit pas suffisant pour éviter les tourbillons de sillage.

Au moment ou l'ATC a indiqué au vol ACA190 d'attendre avant de monter au FL 370, l'équipage était conscient qu'il suivait un Boeing 747 qui se trouvait à 4 nm devant, au FL 370. Lorsque l'autorisation de montée lui a été accordée quatre minutes plus tard, l'équipage ne savait pas à quelle distance se trouvait l'autre avion. Il croyait qu'en obtenant une autorisation IFR pour la montée, l'espacement de sécurité était assuré. Le vol ACA190 était équipé d'un TCAS, mais le système ne permettait pas d'afficher le vol UAL896. Les pilotes peuvent se servir du TCAS pour mieux prendre conscience de la situation afin d'éviter la turbulence de sillage, mais les limites du système font en sorte qu'il ne constitue pas un moyen sûr d'assurer l'espacement par rapport au trafic ou aux tourbillons de sillage. En vol IFR, on ne peut pas se fier à l'acquisition visuelle du trafic pour éviter les tourbillons de sillage. En vol sous contrôle radar, les systèmes de l'ATC sont les mieux placés pour établir l'espacement nécessaire à l'évitement des tourbillons de sillage.

*2. Réactions du pilote face à une perte de contrôle de l'appareil*

Les pertes de contrôle de l'appareil causées par des tourbillons de sillage à haute altitude sont assez rares; par contre, elles peuvent survenir brusquement, sans avertissement. Lors du présent événement, de brusques secousses ont été ressenties à bord de l'avion immédiatement avant le déclenchement des mouvements de roulis intempestifs.

Lorsque le vol ACA190 a traversé la turbulence de sillage, le pilote automatique a réagi en contrant les premiers mouvements de roulis sur la droite et sur la gauche. Même si le pilote surveillait les données générales fournies par les systèmes de l'avion, il n'était pas conscient que le Boeing 747 était si près et il ne savait pas que les mouvements commandés par le pilote automatique avaient un lien avec de la turbulence de sillage. Le pilote a réagi aux brusques secousses et aux mouvements de roulis intempestifs en effectuant des corrections importantes aux commandes dans l'espoir de contrôler l'avion.

Même si le commandant de bord avait déjà volé dans de petits tourbillons de sillage, c'était la première fois qu'il était confronté à une perte de contrôle de cette importance. Il croyait que l'avion avait un grave problème de commandes de vol et il a déterminé que la meilleure chose à

faire était de débrancher le pilote automatique et de piloter l'avion manuellement. Dans son évaluation de la situation, il n'a pas pensé que le problème pouvait être causé par de la turbulence de sillage. Il a donc immédiatement pris des mesures pour reprendre le contrôle de l'appareil. Face à l'accentuation de la perte de contrôle, il a tenté de contrer les changements d'assiette en agissant sur les commandes, mais certaines sollicitations ont aggravé la situation.

Les accélérations verticales ont été causées par les effets de la turbulence de sillage sur l'angle d'attaque, mais la plupart des accélérations latérales ont été causées par les sollicitations sur le palonnier et le mini-manche latéral effectuées à la suite de la rencontre avec la turbulence de sillage. Ces accélérations latérales présentent des caractéristiques typiques d'un couplage avion-pilote. Les turbulences de sillage et les sollicitations du pilote sur les commandes ont contribué au fait que les passagers qui n'étaient pas attachés et les objets qui n'étaient pas arrimés ont été projetés contre des éléments de la cabine. Les accélérations latérales ont exercé des charges aérodynamiques supérieures aux limites de certification sur la structure de la dérive. Certaines des mesures prises par le pilote pour corriger la perte de contrôle de l'avion du vol ACA190 ressemblaient à celles qui ont causé des dommages aux ferrures de fixation de la dérive du vol AAL587 en 2001.

Puisque les pilotes ne s'attendaient pas à faire face à une telle perte de contrôle en vol et qu'ils n'ont pas été avertis qu'ils allaient croiser des tourbillons de sillage, ils ont probablement été surpris et ont réagi en effectuant des manœuvres potentiellement dangereuses. Si les pilotes étaient informés à l'avance des risques de rencontre de turbulence de sillage, ils seraient peut-être mieux préparés à y faire face.

Des programmes de formation qui traitent des bonnes mesures à prendre pourraient aussi être bénéfiques. On a toutefois constaté que les programmes de formation des transporteurs canadiens, y compris Air Canada, se concentraient surtout sur les techniques de rétablissement à la suite de mouvements autour de l'axe de tangage et qu'ils ne mettaient peut-être pas suffisamment l'accent sur les mouvements de roulis intempestifs et les sollicitations adéquates sur le palonnier pour empêcher le pilote d'enfoncer le palonnier à fond d'un côté à l'autre.

Les sollicitations du pilote sur les commandes ont aussi entraîné le passage automatique à la loi de substitution en raison des différents angles d'attaque enregistrés. Puisque l'équipage croyait que la perte de contrôle avait été causée par un problème de commandes de vol au niveau des systèmes de l'avion, il était logique, dans les circonstances, de poursuivre le vol sans rebrancher le pilote automatique. Par contre, même si, après l'événement, avec la loi de substitution en vigueur, le contrôle de l'avion en mode manuel ne posait aucun problème, le fait de contrôler l'avion dans des conditions de mesures de protection du domaine de vol limitées aurait légèrement augmenté les risques liés à une perte de protection si le pilote avait été distrait ou si l'avion avait rencontré des turbulences modérées à fortes.

*3. Inversion de la direction et conception de l'avion*

Les circuits de commande de la gouverne de direction de la plupart des avions à réaction de la catégorie transport offrent une protection contre les dommages structuraux en limitant le débattement de la gouverne à vitesse élevée et en réduisant ainsi les charges aérodynamiques exercées sur la dérive. À partir des données recueillies sur le système de l'A300R au moment de l'enquête sur le vol AAL587, le NTSB a précisé dans une de ses recommandations que des modifications aux circuits de commande de la gouverne de direction pourraient réduire les

risques de défaillances catastrophiques. Même si les modèles A300 et A319 diffèrent en taille et en poids, leur circuit de commande de la gouverne de direction est conçu de la même façon. Sur ces deux modèles d'avion, il est possible de braquer la gouverne de direction au maximum permis à vitesse élevée en enfonçant très peu le palonnier et en exerçant relativement peu de force sur celui-ci. Cette capacité pourrait entraîner une utilisation excessive du palonnier si un pilote était surpris par une variation importante de l'assiette en roulis.

Sur un avion en dérapage, une dérive braquée au maximum du côté de l'avion face au vecteur vent relatif a plus de risques d'être soumise à une surcharge structurale. Le circuit de commande de la gouverne de direction de l'A319 ne réduit pas le débattement sur le côté au vent du dérapage comparé au côté sous le vent. Le limiteur de débattement de la direction n'empêche pas que des charges potentiellement dangereuses s'exercent sur la structure de l'avion lorsque le palonnier est enfoncé à fond d'un côté à l'autre.

### *Risques liés aux chariots de service*

Après avoir été soulevés du plancher et après avoir heurté le plafond au-dessus des sièges passagers occupés, les chariots de service sont retombés dans l'allée. Même si des accidents de ce genre sont rares, ils peuvent avoir de graves conséquences.

L'enquête a donné lieu aux rapports de laboratoire suivants :

LP 007/2008 – *Flight Data Recorder Analysis* (Analyse de l'enregistreur de données de vol);

LP168/2009 – *Control Input Analysis* (Analyse des sollicitations sur les commandes).

On peut obtenir ces rapports en s'adressant au Bureau de la sécurité des transports du Canada.

## *Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs*

1. Même si l'espacement entre les avions était supérieur à l'espacement minimal requis en vertu de la norme au moment où l'avion du vol ACA190 a été autorisé à monter, les tourbillons de sillage de l'avion du vol UAL896 ne s'étaient pas dissipés.

2. La quantité d'énergie à l'intérieur des tourbillons en bout d'aile générés par l'avion le plus lourd a été suffisamment importante pour causer une perte de contrôle en tangage et en roulis de l'avion du vol ACA190, ce qui a contribué à projeter des occupants et des objets contre différents éléments de la cabine.

3. Les sollicitations du pilote sur le palonnier et sur le mini-manche latéral pendant le rétablissement à la suite de la perte de contrôle ont causé un dérapage et fait augmenter les facteurs de charge, ce qui a contribué à projeter des occupants et des objets contre différents éléments de la cabine et à causer des accélérations latérales qui ont exercé sur la dérive des charges aérodynamiques supérieures aux limites certifiées.

4. La formation périodique annuelle des pilotes d'Airbus A319/A320 d'Air Canada ne traitait pas systématiquement des risques liés à l'inversion de la direction pendant un rétablissement à la suite d'une perte de contrôle à vitesse élevée. Cette situation augmentait les probabilités que les pilotes fassent une utilisation inappropriée du palonnier lors d'un rétablissement.

## *Faits établis quant aux risques*

1. Les tourbillons de sillage augmentent les risques de blessures aux passagers et au personnel de cabine et de dommages aux avions.

2. Il n'est pas d'usage dans l'industrie d'arrimer les chariots de service lorsqu'ils sont utilisés dans les allées. Il serait peut-être bon que les constructeurs et les exploitants examinent les risques liés à l'utilisation des chariots non arrimés afin d'élaborer des mesures d'atténuation de ces risques.

3. Au moment de l'événement, les manuels, qui n'étaient retenus d'aucune façon, sont sortis des compartiments de rangement et ont été éparpillés dans le poste de pilotage. Ce matériel aurait pu blesser un membre de l'équipage de conduite et endommager des commutateurs et des commandes du poste de pilotage.

4. Sur les avions Airbus de type A318/A319/A320/A321, le pilote peut braquer suffisamment la gouverne de direction pour que des charges aérodynamiques supérieures aux limites de certification et près des limites ultimes soient exercées sur la structure.

## *Autre fait établi*

1. Au moment de l'événement, les documents fournis par Airbus aux exploitants des avions de type A318/A319/A320/A321 ne précisaient pas les limites de charges latérales au-delà desquelles la dérive devait faire l'objet d'une inspection.

# *Mesures de sécurité*

## *Mesures prises*

### *Mesures prises par le Bureau de la sécurité des transports*

En décembre 2008, le BST a émis deux communications de sécurité.

L'avis de sécurité aérienne A08W0007-D2-A1, Wake Turbulence Encounters During En Route Climbs and Descents (Rencontres de turbulence de sillage pendant les montées et les descentes en vol), a été envoyé à Transports Canada. L'avis précisait que, comme le démontrent le présent événement et d'autres événements, les dispositions actuelles en matière d'évitement de la turbulence de sillage ne conviennent pas à toutes les situations, et plus particulièrement lorsque des avions volent derrière un avion plus gros à un niveau de vol inférieur. Les rencontres de

turbulence de sillage imprévues peuvent continuer à se produire et augmenter les risques de blessures aux passagers et à l'équipage et de dommages structuraux aux avions. L'avis suggérait à Transports Canada de discuter avec l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), NAV CANADA et la Federal Aviation Administration (FAA) des États-Unis afin de trouver des moyens de réduire les risques de rencontre de turbulence de sillage présentant un danger à des altitudes de croisière ou pendant les montées et les descentes.

L'avis de sécurité aérienne A08W0007-D1-A1, Pilot Training for Upset Recovery in Transport Category Aircraft (Formation des pilotes sur le rétablissement à la suite d'une perte de contrôle des avions de la catégorie transport), a été envoyé à Transports Canada. L'avis précisait que, comme le démontre le présent événement, les pilotes d'avions de la catégorie transport peuvent agir sur les commandes de façon inadéquate lors d'une perte de contrôle à angles d'inclinaison élevés et provoquer des mouvements de l'avion qui peuvent causer des blessures aux passagers et au personnel de cabine et, comme dans le cas du vol 587 d'American Airlines (AAL587) en 2001, endommager la structure. Un examen des programmes de formation des exploitants canadiens sur le rétablissement à la suite d'une perte de contrôle de l'appareil a permis de constater que certains programmes ne contiennent aucun scénario de rétablissement en cas de perte de contrôle à angles d'inclinaison élevés. L'avis de sécurité suggérait à Transports Canada de faire part aux exploitants canadiens d'avions de la catégorie transport de la nécessité d'inclure des scénarios de mouvements de roulis dans la formation sur le rétablissement à la suite d'une perte de contrôle de l'appareil et d'indiquer comment agir sur le palonnier lors d'un rétablissement.

*Mesures prises par Transports Canada*

Transports Canada Aviation civile a accepté de participer à un groupe d'étude de l'OACI qui a été formé :

1) pour proposer des modifications aux dispositions en vigueur de l'OACI relatives aux minima d'espacement de turbulence de sillage et aux catégories d'avions;

2) pour préparer des documents d'orientation, au besoin, sur les dispositions applicables des Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien (PANS-ATM);

3) pour évaluer les travaux futurs sur les points suivants :

   a) les exigences en matière de prévention des problèmes liés à la turbulence de sillage et de systèmes d'indication;

   b) l'effet de la turbulence de sillage pendant la phase en route du vol et à l'égard des hélicoptères;

   c) le signalement des tourbillons de sillage, la collecte de données et l'analyse des rencontres de tourbillons de sillage;

d) les minima d'espacement de turbulence de sillage pour certaines opérations à proximité des pistes qui ne sont pas couvertes par les dispositions en vigueur des PANS-ATM.

*Mesures prises par Air Canada*

À la suite du présent événement, Air Canada a formé un groupe de travail chargé d'examiner les procédures de formation et d'exploitation de l'entreprise concernant les pertes de contrôle des avions à réaction. Le programme de formation qui traite des risques liés à l'utilisation excessive du palonnier dans certaines conditions s'appliquera maintenant à tous les types d'avions de l'entreprise. Les programmes de formation périodique annuelle et de formation sur simulateur seront modifiés au besoin.

En février 2008, Airbus a publié une révision au chapitre 05-51-44 du manuel de maintenance (Airbus Maintenance Manual) des avions A318/A319/A320/A321 et qui définit les exigences en matière d'inspection des avions soumis à de fortes accélérations latérales. Air Canada a inclus cette révision dans le programme de maintenance de tous ces types d'avions. L'état de fonctionnement d'un avion soumis à de fortes accélérations latérales au cours d'un événement sera basé sur l'analyse des données de l'enregistreur numérique de données de vol (DFDR) et de l'enregistreur à accès rapide (QAR) effectuée par Airbus.

Air Canada modifiera le système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions (TCAS) de tous ses Airbus A319 dotés de la version 32 de l'ordinateur de gestion des données pour qu'il puisse afficher tout le trafic, y compris les aéronefs ne présentant aucun risque de collision. Ces modifications tiendront compte du bulletin de service 34-1064 d'Airbus et de la modification 25184 du bulletin de service 34-1106 d'Airbus et permettront aux TCAS des A319/A320/A321 d'afficher tous les aéronefs se trouvant à proximité jusqu'à 320 milles marins (nm). Les pilotes seront alors plus conscients de la présence d'autres avions à proximité, y compris de ceux qui pourraient produire une turbulence de sillage dangereuse.

Air Canada a envoyé aux équipages de conduite l'avis interne n° 35 qui traite de l'arrimage des bagages dans le poste de pilotage. Le manuel d'utilisation de l'aéronef (AOM) 1.04.02 P15 a été modifié pour faire en sorte que les bagages de l'équipage de conduite soient attachés avec les dispositifs de retenue disponibles dans le poste de pilotage, le cas échéant, ou fixés de façon à ce qu'ils ne puissent pas se déplacer.

*Mesures prises par Airbus*

Après avoir déterminé que les manuels de maintenance des avions A318/A319/A320/A321 ne précisaient pas les limites de charge latérales au-delà desquelles la dérive devait faire l'objet d'une inspection, Airbus a publié et distribué le manuel de maintenance de l'aéronef (AMM) 05-51-44-200-001 qui fournit des directives sur l'inspection des composants de la dérive de ces avions.

Airbus a envoyé le Operator Information Telex SE 999.0012/08/LB en date du 15 février 2008 et le Operator Information Telex SE999.0012/08/LB Rev 01 en date du 3 avril 2008 à tous les exploitants d'avions Airbus. Ces documents visaient à fournir les détails du présent événement à tous les exploitants et à les informer des modifications qui seront apportées aux exigences en matière de compte rendu et de maintenance à la suite d'importantes accélérations latérales.

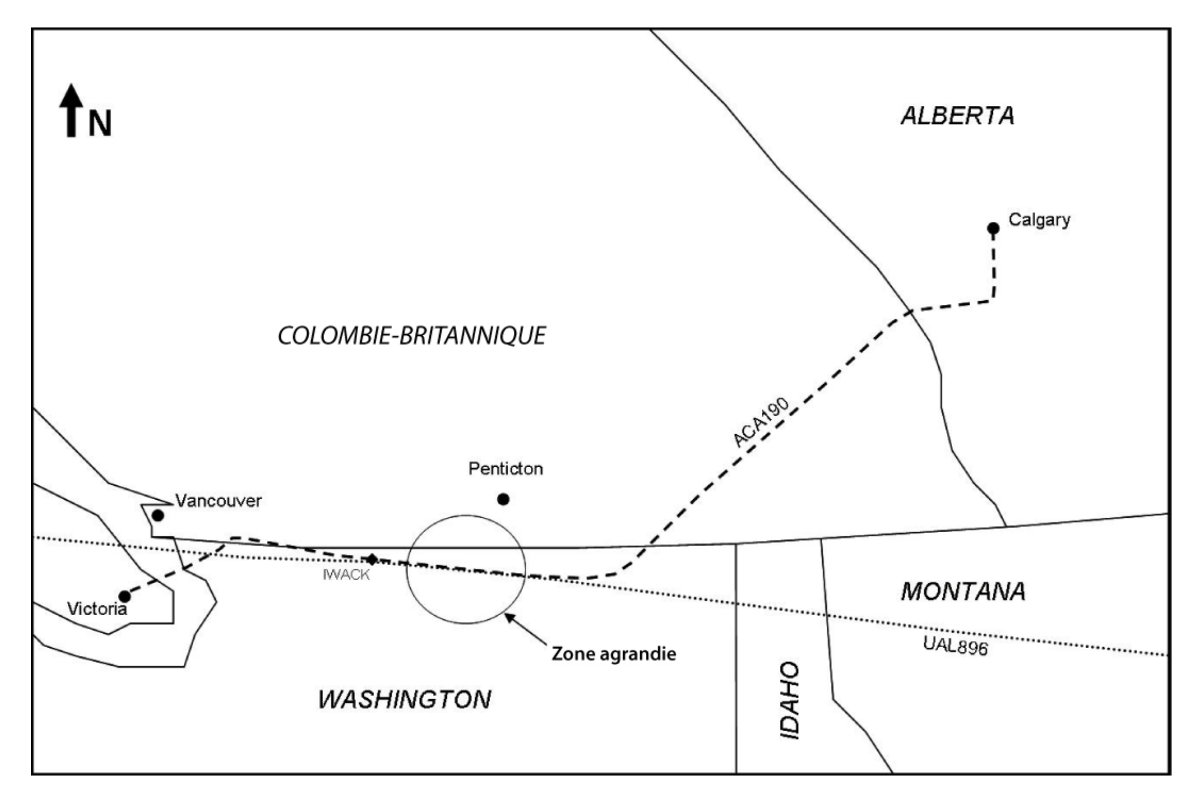
*Mesures prises par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)*

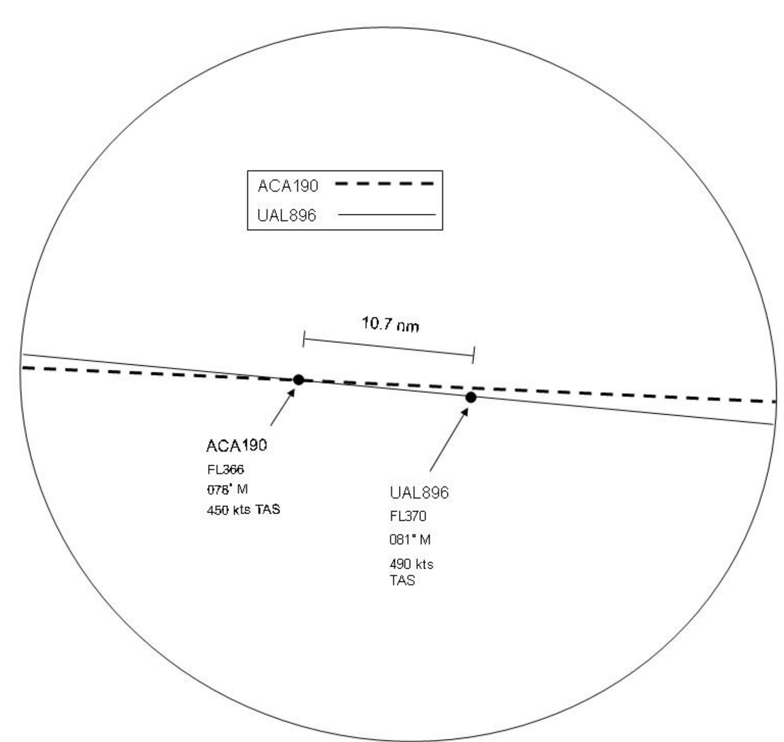
Le groupe directeur chargé d'étudier les tourbillons de sillage de l'Airbus A380 a fourni à l'OACI de nouveaux renseignements qui lui ont permis de publier, en juillet 2008, une lettre d'État qui comprend des renseignements à jour sur les différents aspects liés à la turbulence de sillage générée par l'Airbus A380-800.

*Le présent rapport met un terme à l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication du rapport le 8 avril 2010.*

*Visitez le site Web du BST (www.bst-tsb.gc.ca) pour plus d'information sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également des liens vers d'autres organismes de sécurité et des sites connexes.*

# *Annexe A – Carte des trajectoires de vol de ACA190 et de UAL896*

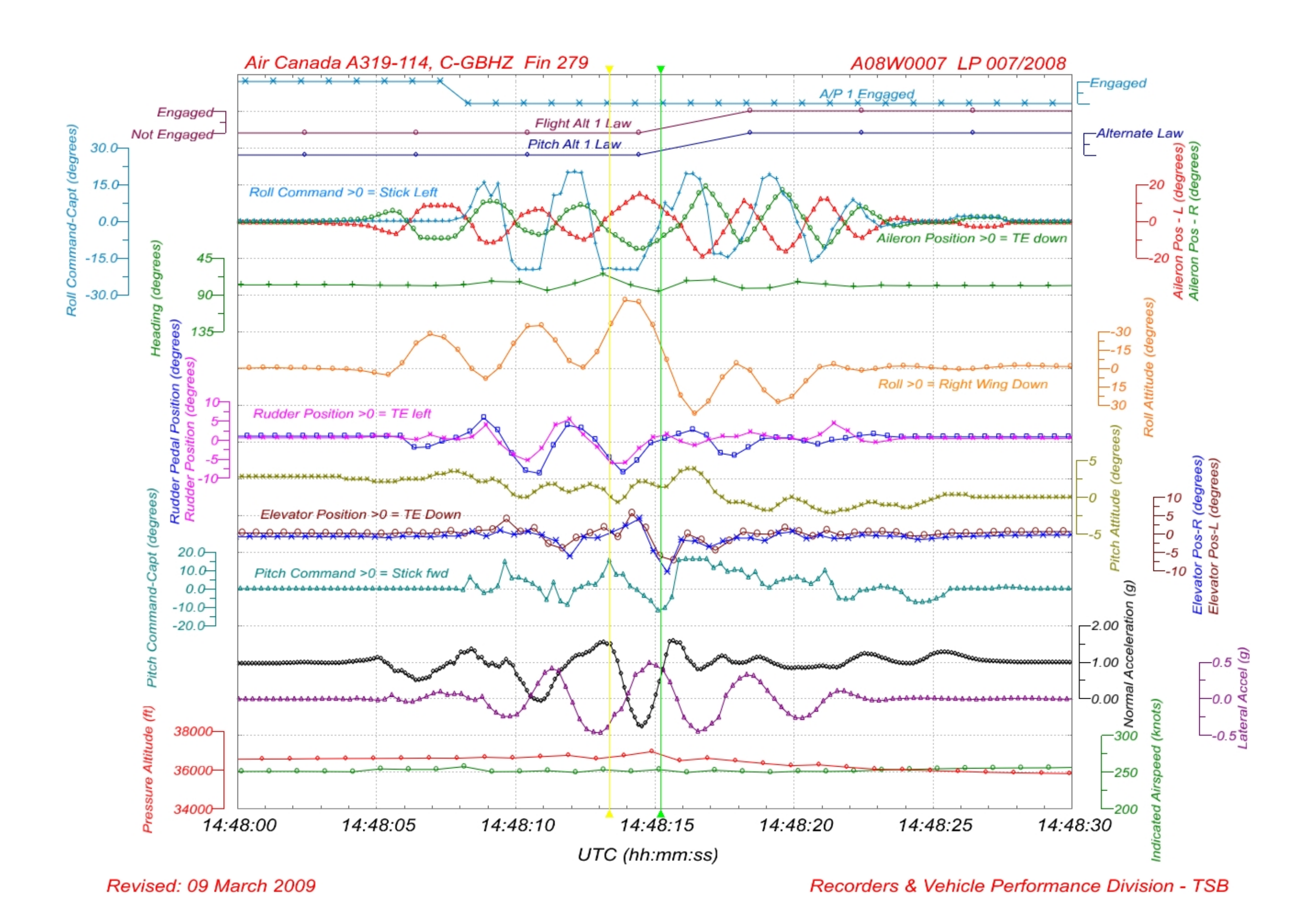



*Zone agrandie*

# *Annexe B – Données DFDR relatives à l'événement*

*(Ce document n'est pas disponible en français.)*



# *Annexe C – Commentaires du Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile*

*(Ce document n'est pas disponible en français.)*



**Comments on the Draft Final Report on the event "Encounter with wake turbulence" Air Canada , Airbus 319-114 C-GBHZ, Washington state, USA, 10 January 2008**

- **Comment 1 - Summary:**

Do the most severe injuries match the definition of an accident or those of an incident? The initial notification mentioned an incident. Is this definition still valid? Could it be mentioned in the summary or in the title?

- **Comment 2 - Page 2, last paragraph:**

As different accelerations were computed from the recorded parameters for the loads computation, you may specify "Accelerations are sensed and recorded close to center of gravity".

- **Comment 3 - Page 6 – Out-of-the-loop performance problems**

I find this paragraph factually correct as a general statement; however it should be placed in the Analysis section to support the "pilot reaction to an upset" chapter 2.

- **Comment 4 – Page 12 & 13 -first bullet**

Previous experience of the captain and first analysis of the situation show that he was not aware of the wake turbulence. As it is factual information, I suggest moving this paragraph to the factual section as "crew testimony".

# *Annexe D – Sigles et abréviations*

| | |
|---|---|
| AAL587 | vol 587 d'American Airlines |
| ACA190 | vol 190 d'air Canada |
| ADIRU | unité de référence inertielle anémobarométrique |
| AMM | manuel de maintenance de l'aéronef |
| AOM | manuel d'utilisation de l'aéronef (aircraft operating manual) |
| ATC | contrôle de la circulation aérienne |
| AURTA | outil de formation appelé Airplane Upset Recovery Training Aid |
| BST | Bureau de la sécurité des transports du Canada |
| CCR | centre de contrôle régional |
| CNRC | Conseil national de recherches du Canada |
| DFDR | enregistreur numérique de données de vol |
| ECAM | moniteur électronique centralisé de bord |
| FAA | Federal Aviation Administration (États-Unis) |
| FAR | *Federal Aviation Regulations* (États-Unis) |
| FCOM | manuel d'utilisation destiné aux équipages de conduite (Flight Crew Operations Manual) |
| FL | niveau de vol |
| *g* | facteur de charge |
| JAA | Autorités conjointes de l'aviation (Joint Aviation Authorities) européennes |
| JAR | *Joint Aviation Requirements* |
| KCAS | vitesse corrigée en nœuds |
| couplage avion-pilote | aircraft-pilot coupling |
| MANOPS ATC | *Manuel d'exploitation du contrôle de la circulation aérienne* |
| NTSB | National Transportation Safety Board (États-Unis) |
| OACI | Organisation de l'aviation civile internationale |
| PANS-ATM | Procédures pour les services de navigation aérienne – Gestion du trafic aérien |
| QAR | enregistreur à accès rapide |
| UAL896 | vol 896 de United Airlines |
| TCAS | système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions |
| ° | degré |
| °M | degré magnétique |